

멜라닌 사이언스

멜라닌이 어떤 기전으로 작동하는지, 그리고 그 기전을 받치는 연구 수치를 여덟 장으로 정리했습니다.
모든 수치는 하단 참고문헌의 원문에서 확인한 값입니다.

멜라누아 2026-10-26 8개 장 · 그림 15 · 문헌 27편

멜라닌은 사람 피부의 주된 내인성 광보호 인자다

기전

표피의 멜라닌은 자외선이 기저층의 DNA에 닿기 전에 흡수합니다. 멜라닌 함량이 많은 피부일수록 같은 자외선량에서 DNA 손상이 적습니다.



그림 1 표피 단면 개략. 멜라닌 과립은 각질형성세포의 핵 위에 모자처럼 모이며, 총량의 70~80 %가 기저층에 있다. 오른쪽은 층별 DNA 보호계수 ¹.

연구 결과

관찰	수치	출처
같은 DNA 손상(CPD)을 내는 데 필요한 태양광 모사광 선량 배수 — 짙은 피부(광선형 VI) / 밝은 피부(I/II)	표피 전체 8.0배 (95% CI 6.7–9.9) · 기저층 59배	¹
같은 두 집단의 총 표피 멜라닌 함량 비	약 8배	¹
멜라닌 함량과 선량당 DNA 손상 증가 기울기의 상관	Spearman $r = -0.82$	¹
멜라닌 함량이 약 4배 높은 피부의 1 MED 조사 후 DNA 손상	약 7~8배 낮음	¹⁴

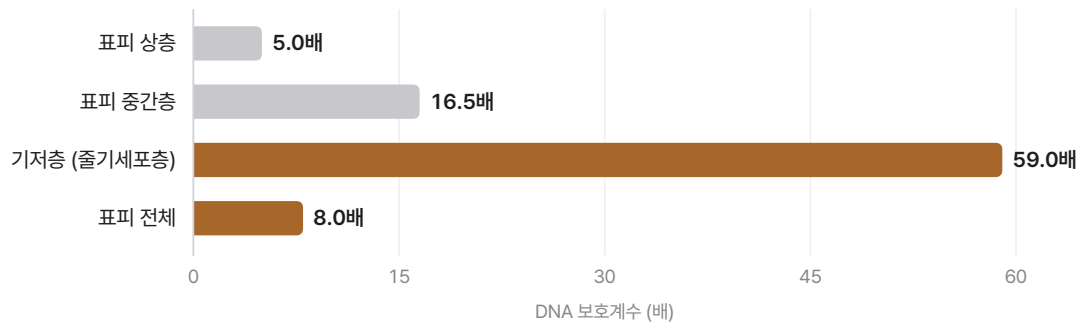


그림 2 짙은 피부(광선형 VI)가 밝은 피부(I/II)와 같은 DNA 손상을 받는 데 필요한 선량 배수. 표피 멜라닌의 70~80 %가 모인 기저층에서 보호가 가장 크다 ¹.

같은 연구¹에서 DNA 보호계수(8.0)와 멜라닌 함량 비(약 8배)가 같은 크기로 나왔습니다. 멜라닌 함량이 곧 광보호의 크기입니다.

UV에서 가시광까지 넓게 흡수하고, 에너지를 열로 흘려보낸다

기전

멜라닌은 특정 파장에 흡수 봉우리가 있는 유기 자외선 흡수제와 달리, 자외선에서 가시광까지 파장이 짧아질수록 흡광이 단조 증가하는 광대역 흡수체입니다. 흡수한 에너지는 빛(형광)이나 반응성 중간체로 나가지 않고 매우 짧은 시간 안에 열로 소산됩니다.

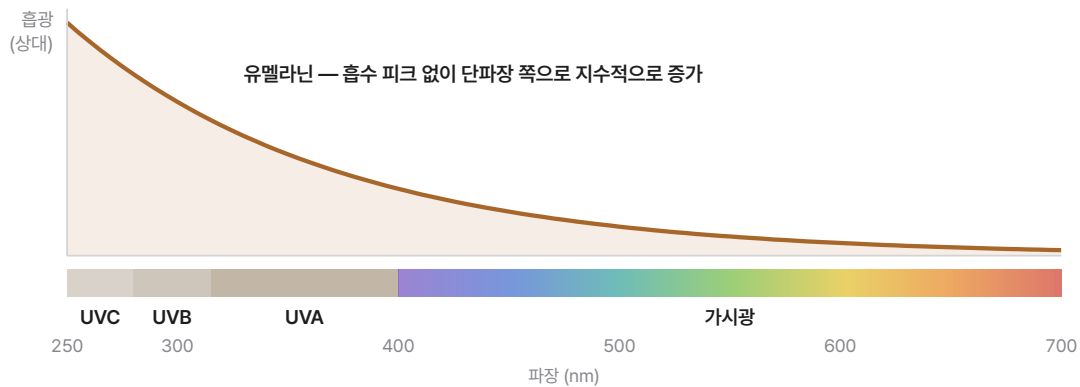


그림 3 파장대와 유멜라닌 흡광의 개략도. 곡선은 원문 서술(피크 없이 단파장 쪽으로 지수적 증가)의 모양을 그린 것이다².

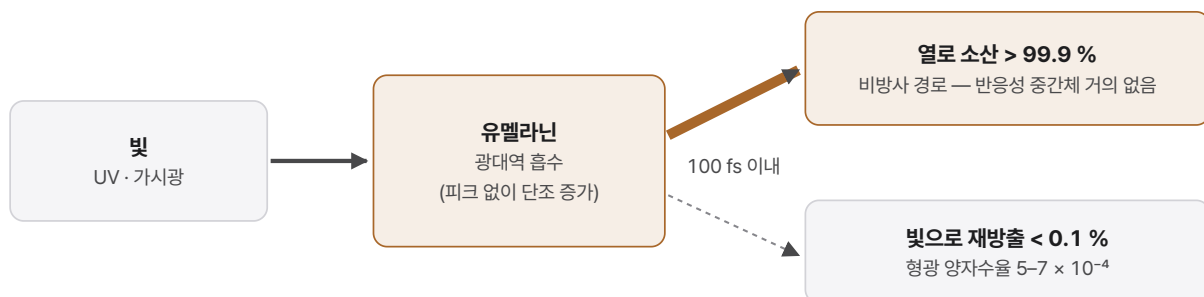


그림 4 유멜라닌이 흡수한 빛 에너지의 행방^{2,4,15}.

연구 결과

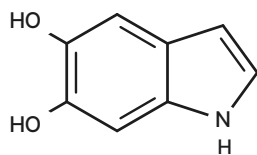
관찰	수치	출처
유멜라닌이 흡수한 UV·가시광 에너지 중 비방사 소산 비율	> 99.9 % (형광 양자수율 $5\sim7 \times 10^{-4}$)	2
유멜라닌 흡광 스펙트럼	특징 피크 없이 단파장으로 갈수록 지수적으로 증가. 산란 기여 배제 확인	2
천연 멜라닌 흡광 스펙트럼	단조 증가형 광대역. 평균 입경 약 146 nm로 산란이 아닌 분자 구조의 흡광	3
천연 멜라닌 배합 크림의 임계파장	388 nm (광대역 기준 370 nm 상회)	3
같은 크림의 UVA/UVB 비	0.5~5 % 전 배합에서 0.84~0.90 (기준 0.8 상회)	3
유멜라닌의 여기 에너지 내부전환	100 fs 이내 — 이후 경로도 모두 비방사, 열로 소산	4
멜라닌의 발광 양자수율	0.1 % 미만 — 흡수 광자를 거의 전부 열로 전환하는 것이 광보호 역할의 핵심	15
UVA 24 h 조사 시 H_2O_2 생성	유멜라닌형 23 μM — 멜라닌이 없는 대조(25 μM)와 같은 수준	16

흡수한 광에너지가 펨토초 안에 열로 바뀌기 때문에 라디칼 생성으로 이어질 여지가 작습니다 ⁴. UVA를 24시간 쬘어도 유멜라닌은 활성산소를 추가로 만들지 않았습니다 ¹⁶.

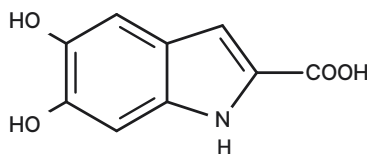
라디칼을 받아내는 산화환원 완충체다

기전

멜라닌은 카테콜(환원형)–세미퀴논(라디칼)–퀴논(산화형)이 한 고분자 안에 공존합니다. 수소원자 전달로 라디칼을 소거하고¹⁵, 세미퀴논이 짝짓지 않은 전자를 받아내는 자리로 작동하며, 퀴논/카테콜 쌍이 가역적으로 산화·환원됩니다. pH 완충액이 산과 염기를 모두 받아내듯, 멜라닌은 전자를 받기도 내주기도 하면서 주변의 산화환원 상태를 일정 범위로 붙잡아 두는 완충체로 작동합니다. 한 번 반응하면 분해되는 저분자 항산화제와 구조가 다릅니다.

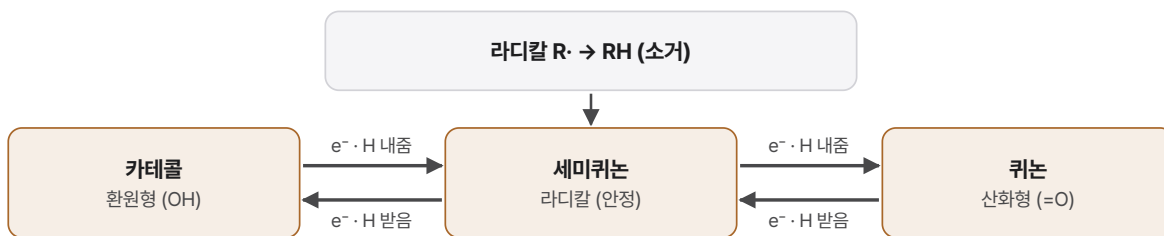


DHI
5,6-다이하이드록시인돌



DHICA
5,6-다이하이드록시인돌-2-카복실산

그림 5 유멜라닌을 이루는 두 단량체. 카테콜(5,6-OH) 부위가 산화환원과 금속 결합의 자리다¹⁵.



한 고분자 안에 세 상태가 공존 — 양방향으로 전자를 주고받으며 산화환원 상태를 일정 범위로 붙잡는다

그림 6 멜라닌의 산화환원 완충 — 세 상태가 한 고분자 안에 공존한다^{5,15,17}.

연구 결과

관찰	수치	출처
천연 멜라닌의 순환전압전류 (CV)	산화환원쌍 4쌍, 그중 퀴논기 쌍은 가역 (합성 멜라닌은 단순한 2쌍)	17
사람 모발 유래 천연 유멜라닌의 산화환원	산화·환원 전류가 짝지어 증폭 — 전자를 받기도 내주기도 한다	5
유멜라닌-전자 셔틀 간 전자 교환	초~분 단위로, 반복적으로, 산화·환원 양방향. 장시간 반복 측정에도 활성 안정	5
천연 멜라닌의 안정 자유라디칼 (EPR)	$g = 2.0030 / 2.0028$ — 세미퀴논 라디칼, 라디칼 소거 활성의 근거	17
ORAC (산소라디칼 흡수능)	$1105 \mu\text{M TE/g}$ — 같은 시험의 아스코르브산·GSH보다 높음	3
수상 자동산화계 퍼옥실 라디칼 반응속도	$3 \times 10^5 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ — Trolox와 유사한 억제 (DHN계 멜라닌)	18
·OH 소거 IC ₅₀	0.56 mg/mL — 같은 시험의 비타민 C와 동등, 비타민 E(1.21)·TBHQ(1.09)보다 우수	9

저분자 항산화제는 분해되고, 멜라닌은 남는다

아스코르브산은 60 °C 2시간에 70 % 이상 분해됐고 ¹⁹, EGCG는 40 °C 16일에 7 %만 남았습니다 ²⁰. 천연 멜라닌은 더 가혹한 80 °C 10시간에도 97 %가 남았습니다 ⁹.

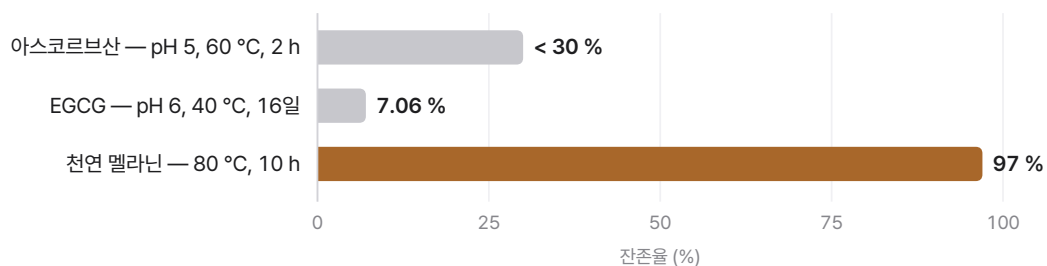


그림 7 가열 후 잔존율. 각 값은 서로 다른 연구의 결과이며 조건을 함께 적었다 ^{9, 19, 20}.

금속 이온을 붙잡는다

기전

멜라닌의 카테콜(오르토-페놀 OH)·카르복실기·아민기가 다좌 리간드로 금속 이온과 킬레이트를 형성합니다. 철·구리 같은 전이금속은 제형 안에서 산화를 촉매하므로, 이들을 붙잡는 것은 곧 산화 억제로 이어집니다.

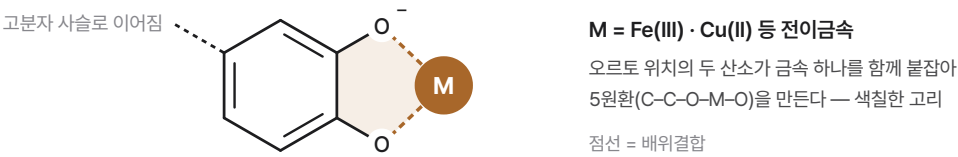


그림 8 카테콜 단위의 금속 킬레이트. 오르토 위치의 두 산소가 금속 이온 하나를 붙잡아 5원환을 만든다 ^{6,9}.

연구 결과

관찰	수치	출처
천연 유멜라닌의 금속 결합용량	Mg·Ca·Zn 1.4~1.5, Fe(III) 1.2, Cu(II) 1.1 mmol/g	6
결합 친화도 순서	알칼리 < 알칼리토 < Zn(II) < Cu(II)·Fe(III)·Mn(II) — 산화 촉매 금속일수록 강하게 결합	6 15
천연 멜라닌의 Cr·Cd 제거 (배치 흡착)	15 mg/mL에서 Cr 77.13 %, Cd 60.03 %. FT-IR·EDX로 결합 확인	7
천연 멜라닌 Cr(VI) 흡착	Langmuir 적합(R ² 0.904), 이론 최대 흡착량 19.37 mg/g — 유한한 활성점 단층 흡착	17
천연 멜라닌의 Cd ²⁺ 흡착률	100 mg 첨가 시 91.67 %	9

관찰	수치	출처
$\text{Fe}^{3+} \cdot \text{Fe}^{2+} \cdot \text{Al}^{3+} \cdot \text{Cu}^{2+}$ 접촉	오르토-페놀 OH의 5원환 킬레이트 형성 ($\text{K}^+ \cdot \text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+}$ 는 영향 없음)	9
사람 표피 각질형성세포 + 중금속	Cd^{2+} 노출 하 생존율 87 % (Pb 85, As 86, Hg 90 %)	10

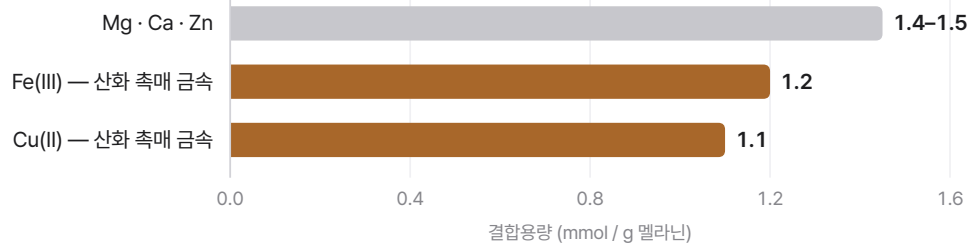


그림 9 천연 유멜라닌의 금속 결합용량. 결합 친화도는 Cu(II)·Fe(III)가 가장 강하다 ⁶.

제형에서의 의미

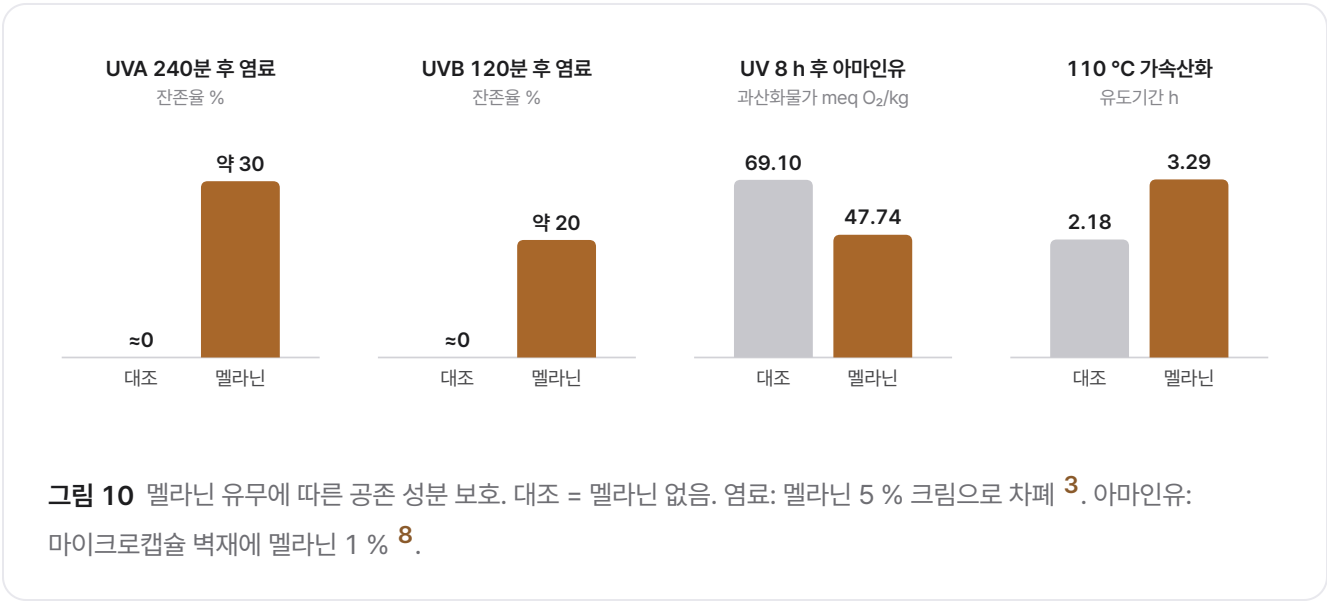
아스코르브산은 Cu(II)·Fe 공존 시 80 % 이상 손실됩니다 ¹⁹. 멜라닌이 가장 강하게 붙잡는 금속이 바로 이 산화 촉매 금속입니다.

함께 배합된 성분의 광분해·산패를 늦춘다

기전

2장의 광대역 흡수가 빛을, 3장의 라디칼 소거가 연쇄 산화를, 4장의 금속 결합이 산화 촉매를 각각 줄입니다. 그 결과 같은 제형 안에 들어 있는 다른 성분이 보호됩니다.

연구 결과



관찰	멜라닌 없음	멜라닌 있음	출처
UVA 240분 후 염료(Rhodamine B) 잔존	거의 0 %	약 30 % (멜라닌 5 % 크림 차폐)	3
UVB 120분 후 염료 잔존	거의 0 %	약 20 %	3
UV 8 h 후 아미노산 과산화물가 (meq O ₂ /kg)	69.10	47.74 (-31 %, 멜라닌 1 %)	8
같은 조건 TBARS (μM MDA/g)	2.48	1.64	8
110 °C 가속산화 유도기간 (Rancimat)	2.18 h	3.29 h	8

빛(UV 조사)과 열(Rancimat) 두 조건에서 모두 산화가 늦춰졌습니다.

열과 빛에 안정하다

기전

멜라닌은 방향족 고리와 공액 이중결합으로 이루어진 고분자입니다. 저분자 활성 성분이 분해되는 온도·광량에서도 구조를 유지합니다.

연구 결과

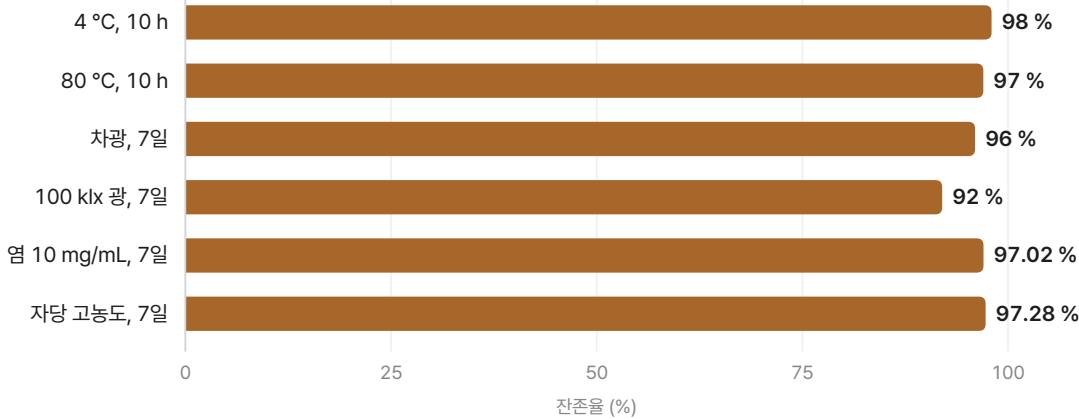


그림 11 조건별 수분산 천연 멜라닌 잔존율 ⁹.

관찰	수치	출처
천연 멜라닌 열분해 개시온도 (TGA)	173~196 °C (합성품 158 °C)	21
천연 멜라닌 나노입자 2주 관찰	형태·구조 변화 없음	22

같은 열 부담에서 저분자 항산화제와의 차이는 3장의 잔존율 그림에 있습니다.

세포에서 산화 스트레스와 염증 신호를 낮춘다

기전

3장의 라디칼 소거가 세포 안에서도 일어나 자외선·블루라이트가 만든 ROS를 줄입니다. 염증 쪽에서는 두 경로가 함께 작동합니다. 멜라닌이 NO 같은 라디칼성 매개체를 직접 포획하고 ²³, NF-κB 하위의 iNOS·COX-2 발현과 케모카인 분비를 낮춥니다 ^{24,25}.

연구 결과 — 산화 스트레스

관찰	수치	출처
사람 표피 각질형성세포(NHEK) + UVB, 천연 멜라닌 200 µg/mL	세포 내 ROS 46 % / 31 % (UVB 단독 = 100 %), 생존율 80 / 82 %	10
같은 모델의 초기 세포자멸	22.49 % → 6.85 %	10
사람 1차 각질형성세포·멜라노사이트 + 블루라이트 반복 조사	1·3·5일 ROS 유의 감소, 추가 조사 없는 7일차에도 유지	22
사람 섬유아세포, ROS 유도 후	자유라디칼량 유의 감소	26

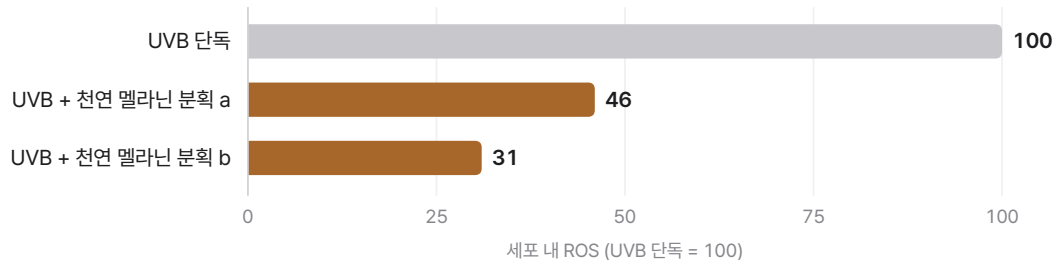


그림 12 사람 표피 각질형성세포의 UVB 유도 세포 내 ROS. 천연 멜라닌 분획 200 µg/mL 전처리 ¹⁰.

연구 결과 — 염증 신호

관찰	수치	출처
LPS 자극 1차 대식세포, 천연 멜라닌 25/50/100 µg/mL	NO 생성 25 → 34 → 82 % 억제, TNF-α 52 % 억제(100 µg/mL), 생존율 > 90 %	11
LPS 자극 대식세포, 천연 멜라닌 400 µg/mL	NO 감소, NF-κB-iNOS-COX-2 mRNA 감소, 항염 사이토카인 IL-10 증가	24
사람 기도상피세포 + 곰팡이·세균·TNF-α 자극	CXCL8·CXCL1 분비 농도의존적 억제. 마우스 생체에서도 호중구 유입 감소. 서로 다른 멜라닌 2종과 합성 멜라닌 모두 같은 효과	25

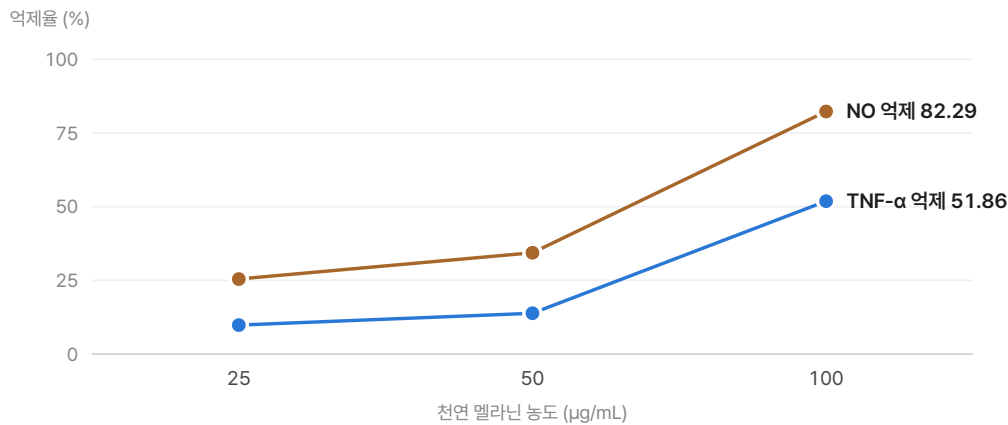


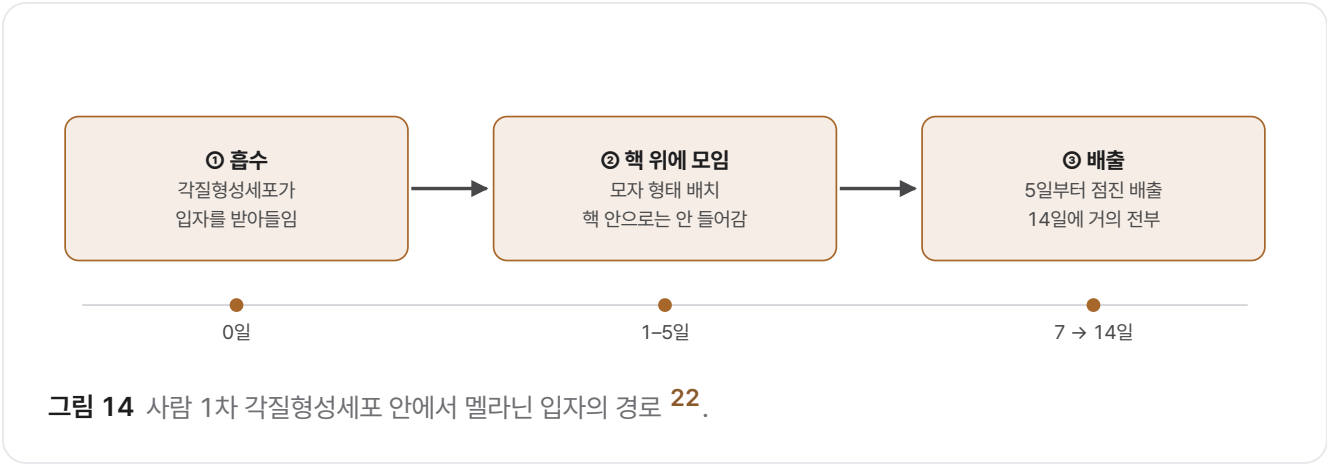
그림 13 LPS 자극 1차 대식세포에서 천연 멜라닌 농도별 NO·TNF-α 생성 억제율 ¹¹.

Nature Communications에 실린 연구 ²⁵는 억제가 세포독성이나 흡착 때문이 아니라, 칼슘 유동을 막아 케모카인 분비 단계를 차단한 결과임을 보였습니다(세포 안 CXCL8 단백질은 오히려 증가, 전사체 변화 없음).

생체적합성이 높고, 생물학적으로 분해된다

기전

멜라닌은 사람 피부·모발·눈에 원래 있는 내인성 색소입니다. 각질형성세포는 멜라닌을 받아 핵 위에 모으고, 시간이 지나면 배출합니다²². 멜라닌은 리그닌과 같은 방향족 페놀 고분자이며, 자연계에서 리그닌을 분해하는 효소계(퍼옥시데이스 + H₂O₂)가 멜라닌도 분해합니다²⁷.



연구 결과

관찰	수치	출처
사람 각질형성세포(HaCaT), 천연 멜라닌 나노입자 3.1~100 µg/mL 24 h	생존율 95~105 % (100 µg/mL에서 104.6 %), ISO 10993-5 비세포독성	12
마우스 피부 3일 연속 도포	1차 자극지수 0.0 (식염수와 동일; 시판 산화염모제 3.11)	12
HaCaT, 천연 멜라닌 최대 4 mg/mL, 72 h	세포독성 없음	3
사람 섬유아세포 72 h IC50	119.7 µg/mL · 제브라피시 배아 LC50 205 mg/L (GHS 비수생독성 기준 100 mg/L 초과)	26

관찰	수치	출처
천연 피오멜라닌 1~1024 $\mu\text{g/mL}$	섬유아세포·단핵구 생존율 기준선(70 %) 유지 — 합성품은 32~64 $\mu\text{g/mL}$ 부터 기준선 아래	21
1차 각질형성세포 내 입자	핵 위에 모자 형태로 모이고 핵에는 들어가지 않음. 14일에 거의 전부 배출	22
멜라닌 이식체, 랫드 체내 8주	거의 완전히 분해되어 작은 파편만 잔존(실리콘 대조는 변화 없음). 조직 반응은 실리콘과 유사	13
리그닌 퍼옥시데이스 + H_2O_2 , 6 h	멜라닌 70 % 탈색(매개체 첨가 시 92 %) — 퍼옥시데이스 계에서 효소적으로 산화분해	27

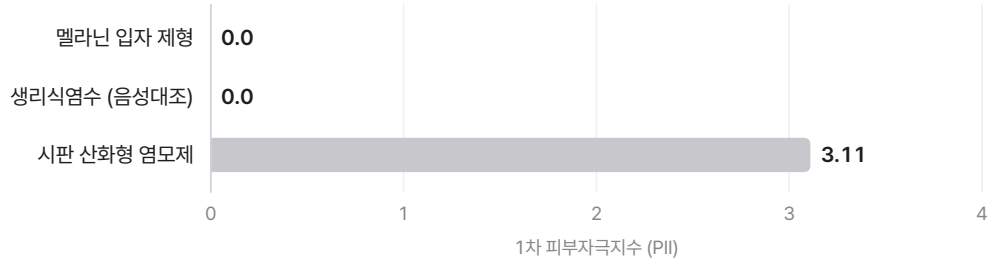


그림 15 마우스 피부 3일 연속 도포 후 1차 피부자극지수 12.

REFERENCES

참고문헌

1. Fajuyigbe D, Lwin SM, Diffey BL, Baker R, Tobin DJ, Sarkany RPE, Young AR. Melanin distribution in human epidermis affords localized protection against DNA photodamage and concurs with skin cancer incidence difference in extreme phototypes. *FASEB J.* 2018;32(7):3700-3706. [인체] doi.org/10.1096/fj.201701472r ↩
2. Meredith P, Riesz J. Radiative relaxation quantum yields for synthetic eumelanin. *Photochem Photobiol.* 2004;79(2):211-216. [물성·화학] doi.org/10.1562/0031-8655(2004)079<0211:rcrqyf>2.0.co;2 ↩
3. Oh JJ, Kim JY, Son SH, Jung WJ, Kim DH, Seo JW, Kim GH. Fungal melanin as a biocompatible broad-spectrum sunscreen with high antioxidant activity. *RSC Adv.* 2021;11(32):19682-19689. [세포] doi.org/10.1039/d1ra02583j ↩
4. Ilin A, Thorn KE, Hume PA, Wagner I, Tamming RR, Sutton JJ, Gordon KC, Andreassend SK, Chen K, Hodgkiss JM. The photoprotection mechanism in the black-brown pigment eumelanin. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2022;119(43):e2212343119. [물성·화학] doi.org/10.1073/pnas.2212343119 ↩
5. Kim E, Panzella L, Micillo R, Bentley WE, Napolitano A, Payne GF. Reverse Engineering Applied to Red Human Hair Pheomelanin Reveals Redox-Buffering as a Pro-Oxidant Mechanism. *Sci Rep.* 2015;5:18447. [물성·화학] doi.org/10.1038/srep18447 ↩
6. Hong L, Simon JD. Current understanding of the binding sites, capacity, affinity, and biological significance of metals in melanin. *J Phys Chem B.* 2007;111(28):7938-7947. [리뷰] doi.org/10.1021/jp071439h ↩
7. El-Gazzar N, Abdo E, Rabie G, El-Sayed MT. Suppression of mycotoxins production and efficient chelation of heavy metals using natural melanin originated from *Aspergillus flavus* and *Aspergillus carbonarius*. *BMC Biotechnol.* 2025;25(1):6. [물성·화학] doi.org/10.1186/s12896-024-00941-7 ↩
8. Dąbrowski G, Konopka I, Ogródowska D. Plant melanin as a microcapsule wall component for flaxseed oil oxidative stability improvement. *Sci Rep.* 2025;15(1):40270. [물성·화학] doi.org/10.1038/s41598-025-24023-6 ↩
9. Liu S, Liu X, Zhang X, Su Y, Chen X, Cai S, Liao D, Pan N, Su J, Chen X, Xiao M, Liu Z. Exploring the Potential of Water-Soluble Squid Ink Melanin: Stability, Free Radical Scavenging, and Cd²⁺ Adsorption Abilities. *Foods.* 2023;12(21):3963. [물성·화학] doi.org/10.3390/foods12213963 ↩
10. Li X, Yang H, Wang Y, Li C, Huo Y, Qi J, He L. Photoprotective and Heavy Metal-Detoxifying Melanin Fractions Isolated from *Ophiocordyceps sinensis* Fermentation Products. *Biology (Basel).* 2026;15(14):1183. [세포] doi.org/10.3390/biology15141183 ↩
11. Gonçalves Rde C, Kitagawa RR, Raddi MS, Carlos IZ, Pombeiro-Sponchiado SR. Inhibition of nitric oxide and tumour necrosis factor- α production in peritoneal macrophages by *Aspergillus nidulans* melanin. *Biol Pharm Bull.* 2013;36(12):1915-1920. [세포] doi.org/10.1248/bpb.b13-00445 ↩

12. Cai A, Lin H, Li Y, Li D, Bai K, Chen J. The Development of Squid Ink Melanin Nanoparticles as a Multifunctional Colorant Anchored on Hair Fibers: Preparation, Physicochemical Characterization and Dyeing Performance. *Biomolecules*. 2026;16(4):573. [동물] doi.org/10.3390/biom16040573 ↩
13. Bettinger CJ, Bruggeman JP, Misra A, Borenstein JT, Langer R. Biocompatibility of biodegradable semiconducting melanin films for nerve tissue engineering. *Biomaterials*. 2009;30(17):3050-3057. [동물] doi.org/10.1016/j.biomaterials.2009.02.018 ↩
14. Tadokoro T, Kobayashi N, Zmudzka BZ, Ito S, Wakamatsu K, Yamaguchi Y, Korossy KS, Miller SA, Beer JZ, Hearing VJ. UV-induced DNA damage and melanin content in human skin differing in racial/ethnic origin. *FASEB J*. 2003;17(9):1177-1179. [인체] doi.org/10.1096/fj.02-0865fje ↩
15. d'Ischia M, Wakamatsu K, Cicoira F, Di Mauro E, Garcia-Borron JC, Commo S, Galván I, Ghanem G, Kenzo K, Meredith P, Pezzella A, Santato C, Sarna T, Simon JD, Zecca L, Zucca FA, Napolitano A, Ito S. Melanins and melanogenesis: from pigment cells to human health and technological applications. *Pigment Cell Melanoma Res*. 2015;28(5):520-544. [리뷰] doi.org/10.1111/pcmr.12393 ↩
16. Tanaka H, Yamashita Y, Umezawa K, Hirobe T, Ito S, Wakamatsu K. The Pro-Oxidant Activity of Pheomelanin is Significantly Enhanced by UVA Irradiation: Benzothiazole Moieties Are More Reactive than Benzothiazine Moieties. *Int J Mol Sci*. 2018;19(10):E2889. [물성·화학] doi.org/10.3390/ijms19102889 ↩
17. Medina-Armijo C, Yousef I, Berná A, Puerta A, Esteve-Núñez A, Viñas M, Prenafeta-Boldú FX. Characterization of melanin from *Exophiala mesophila* with the prospect of potential biotechnological applications. *Front Fungal Biol*. 2024;5:1390724. [물성·화학] doi.org/10.3389/ffunb.2024.1390724 ↩
18. Mavridi-Printezi A, Mollica F, Lucernati R, Montalti M, Amorati R. Insight into the Antioxidant Activity of 1,8-Dihydroxynaphthalene Allomelanin Nanoparticles. *Antioxidants (Basel)*. 2023;12(8):1511. [물성·화학] doi.org/10.3390/antiox12081511 ↩
19. Jesus A, Correia-da-Silva M, Confraria C, Silva S, Brites G, Sebastião AI, Carrascal M, Pinto M, Cidade H, Costa P, Cruz MT, Sousa E, Almeida IF. Persulfated Ascorbic Acid Glycoside as a Safe and Stable Derivative of Ascorbic Acid for Skin Care Application. *Molecules*. 2024;29(19):4604. [물성·화학] doi.org/10.3390/molecules29194604 ↩
20. Zhang X, Yang B, Gong Q, Zhu N, Huang YC, Deng JM, Yu M, Yan X, Wang J. Enzymatic Fructosylation of EGCG Significantly Enhances Its Stability for Skin Barrier Repair and Anti-Aging Activities. *Molecules*. 2026;31(13):2381. [물성·화학] doi.org/10.3390/molecules31132381 ↩
21. Urbaniak MM, Gazińska M, Rudnicka K, Płociński P, Nowak M, Chmiela M. In Vitro and In Vivo Biocompatibility of Natural and Synthetic *Pseudomonas aeruginosa* Pyomelanin for Potential Biomedical Applications. *Int J Mol Sci*. 2023;24(9):7846. [동물] doi.org/10.3390/ijms24097846 ↩
22. Chen X, Wu T, Chen Z, Zhang J, Zhou Y, Wang Q, Wang B, Wang Z, Jin X, Xiong S, Zhang T, Gao S, Ma J, Deng Z, Chen X, Li C, Jian Z. Bioinspired nanoparticles prevent blue-light-induced skin hyperpigmentation via FZD2-TYR-melanin pathway. *Mater Today Bio*. 2025;35:102288. [세포] doi.org/10.1016/j.mtbio.2025.102288 ↩

23. Cunha MM, Franzen AJ, Seabra SH, Herbst MH, Vugman NV, Borba LP, de Souza W, Rozental S. Melanin in *Fonsecaea pedrosoi*: a trap for oxidative radicals. *BMC Microbiol.* 2010;10:80. [세포] doi.org/10.1186/1471-2180-10-80 ↩
24. Liu R, Cao Q, Miao H, Pei Y, Wei G, Cheng Y, Geng X, Meng J, Chang M, Xu L. Preparation and In Vitro Bioactivity Evaluation of *Ganoderma lucidum* Melanin-Stabilized Selenium Nanoparticles. *Foods.* 2026;15(2):250. [세포] doi.org/10.3390/foods15020250 ↩
25. Reedy JL, Jensen KN, Crossen AJ, Basham KJ, Ward RA, Reardon CM, Brown Harding H, Hepworth OW, Simaku P, Kwaku GN, Tone K, Willment JA, Reid DM, Stappers MHT, Brown GD, Rajagopal J, Vyas JM. Fungal melanin suppresses airway epithelial chemokine secretion through blockade of calcium fluxing. *Nat Commun.* 2024;15(1):5817. [동물] doi.org/10.1038/s41467-024-50100-x ↩
26. Nguyen LT, Do XH, Pham HB, Duy-Thanh D, Than UTT, Nguyen TH, Nguyen VB, Le DS, Nguyen DT, Kieu KT, Nguyen PT, Vu MD, Tran NT, Nguyen TL, Nghiem LTH, Nguyen TD, Nguyen NTH, Hoang NM. Different Biocompatibility and Radioprotective Activity of Squid Melanin Nanoparticles on Human Stromal Cells. *ACS Omega.* 2024;9(35):36926-36938. [동물] doi.org/10.1021/acsomega.3c09351 ↩
27. Sadaqat B, Khatoon N, Malik AY, Jamal A, Farooq U, Ali MI, He H, Liu FJ, Guo H, Urynowicz M, Wang Q, Huang Z. Enzymatic decolorization of melanin by lignin peroxidase from *Phanerochaete chrysosporium*. *Sci Rep.* 2020;10(1):20240. [동물] doi.org/10.1038/s41598-020-76376-9 ↩

본 자료는 소재 과학의 이해를 돕기 위한 교육 자료로, 특정 제품의 효능이나 치료 효과를 보증하지 않습니다. 서술은 인용된 문헌의 범위 안에서만 유효합니다.